

# 神经模糊算法及其在变频调速中的应用研究<sup>\*</sup>

李绍滋<sup>1</sup> 丁科<sup>2</sup> 梁文林<sup>3</sup>

<sup>1</sup>(厦门大学计算机科学系 厦门 361005)

<sup>2</sup>(北京理工大学自动控制系 北京 100081) <sup>3</sup>(洛阳工学院电气工程系 洛阳 471039)

**摘要** 针对变频调速系统的控制问题,提出了神经模糊控制策略,并将其应用到了交流变频调速系统的实验中。结果表明,神经模糊控制器不仅具有令人满意的静、动态性能,而且具有很强的鲁棒性和自适应性。

**关键词** 变频调速(VVVF) 神经网络 模糊控制

## The Research on Neural-fuzzy Controller and it's Application in VVVF System

Li Shaozi<sup>1</sup> Ding Ke<sup>2</sup> Liang Wenlin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>(Computer Science Department, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

<sup>2</sup>(The Department of Automatic Control, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

<sup>3</sup>(The Department of Electrical Engineering, Luoyang Institute of Technology, Luoyang 471039, China)

**Abstract** This paper presents the neural-fuzzy controlling algorithm to resolve the problem in VVVF system and applies it in the test for VVVF system. Results of the research show that neural fuzzy controller has not only static and dynamic performance, but also high robustness and adaptive ability.

**Key words** VVVF Neural network Fuzzy control

### 1 引言

80年代以来,交流调速系统已进入与传统的直流调速系统相抗争的地位,在各工业发达国家已出现用交流调速取代直流调速的热潮。目前,高性能的交流变频器已相继问世,为设计出高性能的交流调速系统和交流伺服系统提供了可能性。交流电机是一个多变量、强耦合的复杂被控对象,并且存在着参数时变、非线性和不确定因素,要获得良好的控制性能较为困难。为此,人们提出了一系列改善调速性能的控制方案,如单神经元控制器,但存在稳态精度随负载的增加而降低的缺陷<sup>[1]</sup>。

模糊控制的最大优点是不依赖于被控对象的精确模型,仅基于很少的控制规则,即可给出短期的控制信号,具有强的鲁棒性。但是,模糊控制综合定量知识的能力较差,隶属函数及控制规则必须经过反复精心整

定,且由于控制规则的有限而使得控制精度不太高;其次,由于控制规则经整定后就不再改变,当对象参数发生漂移时,不能进行有效的调整,从而限制了其自适应能力<sup>[2]</sup>。

人工神经网络有很好的自学习、大规模并行处理和准确地拟合任意非线性函数的能力<sup>[3,4]</sup>,但在神经网络的内部,所存储的知识却难以理解。将神经网络和模糊控制结合起来构成的神经模糊控制器,既具有模糊控制不要求掌握被控对象精确模型及较强鲁棒性的特点,又具有神经网络自学习及高控制精度的优点。因此,这里利用模糊模型将经验知识转化到神经网络中,构成神经模糊控制器并应用于交流变频调速系统中,取得了较好的实验结果。

### 2 系统组成及硬件设计

系统的主要设备包括一台 PC 个人计算机和

<sup>\*</sup> 本文于 2001 年 9 月收到,系河南省自然科学基金资助项目(9544)。  
©1994-2017 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

CD750工业用交流变频调速器等,系统的组成框图如图 1所示。系统的给定转速( $n_r$ )由计算机设置,系统的反馈信号采用日本 OMRON 公司生产的脉冲编码器产生的转速脉冲,通过计算机接口经脉冲计数板计数

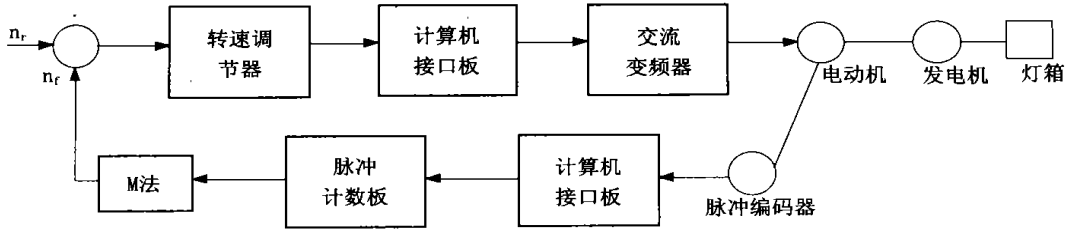


图 1 交流调速系统组成

3 神经模糊控制器设计

速环,内环为电流环,转速调节器采用神经模糊控制器

图 2中, $u$ 为神经模糊控制器的输出控制量, $CR$ 为电流调节器, $Q_1$ 、 $Q_2$ 分别为转速误差  $e$ 、误差变化率  $ec$ 的最化因子, $D$ 为控制量  $u$ 的比例因子。

神经模糊控制器的结构如图 2所示。其中,外环为转

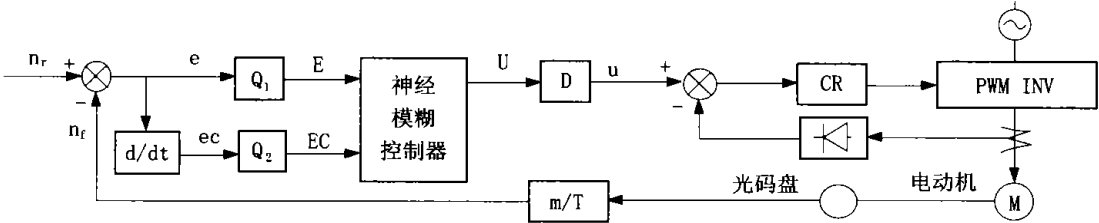


图 2 神经模糊控制器的结构

神经模糊控制器的输入定义如下:

为  $K T$ 时刻的转速误差, $e_2$ 为  $(K-1) T$ 时刻的转速误差, $T$ 为采样时间<sup>[4]</sup>。

$$e= n_r - n_f, ec= (e_1 - e_2) / T$$
 (1)

这里, $n_r$ 为转速给定值, $n_f$ 为实际转速反馈值, $e_1$

表 1 模糊变量 E EC U 的隶属度赋值表

	- 1. 0	- 0. 8	- 0. 6	- 0. 4	- 0. 2	0. 0	+ 0. 2	+ 0. 4	+ 0. 6	+ 0. 8	+ 1. 0
PB										0. 17	1. 00
PM								0. 04	0. 80	0. 47	
PS							0. 47	0. 80	0. 04		
ZO					0. 17	1. 00	0. 17				
NS			0. 04	0. 80	0. 47						
NM		0. 47	0. 80	0. 04							
NB	1. 00	0. 17									

表 2 模糊控制规则表

误差 (E)	误差变化 (EC)						
	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NB
NM	NB	NB	NB	NM	NM	NM	NM
NS	NB	NM	NM	NS	NS	NS	NS
ZO	NB	NM	NM	ZO	PM	PM	PB
PS	PS	PS	PS	PS	PM	PM	PB
PM	PM	PM	PM	PM	PB	PB	PB
PB	PB	PB	PB	PB	PB	PB	PB

采用三个 BP神经网络来模拟模糊模型,神经网络 I、II 分别用于生成 E 和 EC 的隶属函数,神经网络

III用于生成控制量  $u$ 输出。神经网络采用典型神经元,其输入、输出关系为 Sigmoid 函数,即为:

$$S = \sum (\omega_i x_i - \theta_i)$$
 (2)

$$V = \frac{1}{(1 + e^{-S})}$$
 (3)

其中, $\omega_i$ 为网络权值, $x_i$ 为神经元输入, $V$ 为神经元输出, $\theta_i$ 为阈值

3. 1 隶属函数的实现

采用两个相同的三层神经网络 I、II 来生成转速误差 E 和误差变化率 EC 的隶属度。其中,输入层为一个神经元,用于接收误差信号 E 或误差变化率信号

EC 输出层为七个神经元,分别用于生成隶属于 E EC 的模糊子集 { PB, PM, PS, ZO, NS, NM, NB}的隶属度。隐层采用八个神经元,以便 BP网络能快速、准确收敛。以表 1提供的数据为样本进行学习,即可实现 E EC的隶属函数。

3.2 模糊控制规则的实现及控制信号的形成

这里采用三层神经网络Ⅲ来实现模糊控制规则。输入层对应于神经网络Ⅰ、Ⅱ 的输出层,即十四个神经元。输出层为一个神经元,即控制量输出。隐层采用七个神经元。以表 2提供的经验数据为样本进行学习,即可获得一个神经模糊控制器。

4 试验结果及其分析

4.1 试验结果

为了进一步验证仿真的结果,利用图 1所示的闭环控制系统,分别对 PID控制和神经模糊控制两种算法编写程序,研究系统在突加、突减负载的情况下,系

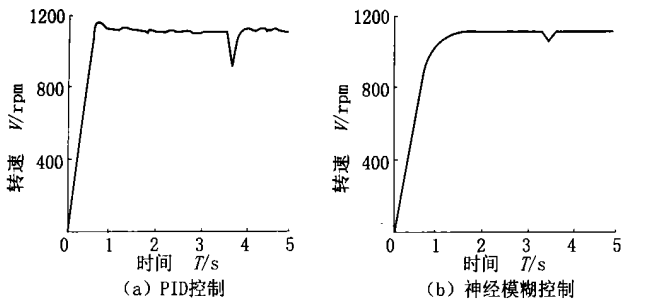


图 3 突加全部灯泡负载时电机的转速响应曲线

统能否快速自行调节,转速能否迅速回到原定值,恢复时间长短。试验时,负载为发电机组带灯箱,通过开关灯箱内灯泡的个数来改变负载,灯箱端子上接有电压表、电流表和功率表,以测量负载的实际大小。

试验时,一共进行了四种不同负载变化的试验,分别是:突加灯箱的一半灯泡负载、突加灯箱的全部灯泡负载、突减灯箱的一半灯泡负载和突减灯箱的全部灯泡负载。几种情况下,神经模糊控制均具有最好的控制效果。由于篇幅的限制,这里仅给出了突加全部灯泡负载和突减全部灯泡负载时电机的转速响应曲线,分别如图 3 图 4所示。系统性能指标如表 3所示。

4.2 试验结果分析

从上述两种控制算法在突加、突减负载时的各项性能指标可以看出,神经模糊控制器能控制转速很快恢复到给定值,恢复时间比 PID控制的恢复时间短,并且在恢复期间削弱了超调和振荡。因此,神经模糊控制器能更好的满足系统在各种变化情况下对高精度控制的要求。

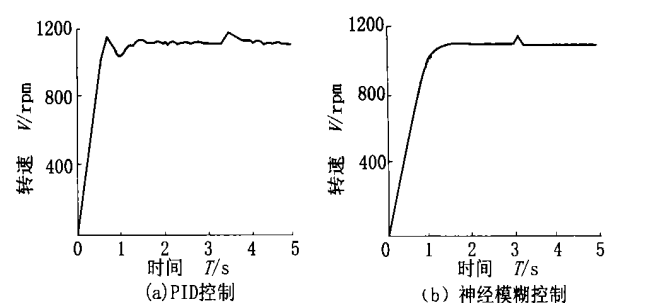


图 4 突减全部灯泡负载时电机的转速响应曲线

表 3 闭环试验系统的性能

控 制 方 法	突加灯箱的全部负载						突减灯箱的全部负载					
	恢复时 间 (s)	超调 量 (%)	负载 电压	负载 电流	负载 功率	占额定负 载比 (%)	恢复时 间 (s)	超调 量 (%)	负载 电压	负载 电流	负载 功率	占额定负 载比 (%)
PID控制	2.0	2.54	201	7.95	1.6	84.2	2.2	0.4	201	7.95	1.6	84.2
神经模糊控制	0.5	0.4	201	7.95	1.6	84.2	0.6	0.23	201	7.95	1.6	84.2

5 结束语

在探索交流调速系统智能控制的道路上,发现将神经网络控制和模糊控制有效的结合起来,构造出神经模糊控制器,并将其应用到交流调速系统中。它具有设计新颖、实用性强,不但不需要被控对象精确的数学模型,而且可以根据以后控制中的结果进行自学习,不

断提高自身的适应性,特别是对于那些系统结构异常复杂、干扰较大,而控制精度又要求较高的场所,神经模糊控制器更能发挥其特点,并且能很好的满足系统的要求。该项目已于 1997年 5月通过了由河南省科委组织的鉴定,得到了专家们的好评,鉴定结论为:国内领先水平。

(下转第 641页)

络训练,其余 35个用于网络性能的测试。训练 RBF网络时,经过了 14次学习(即采用了 14个神经元)后,输出平方误差满足要求(设误差目标为 0.1),误差收敛曲线如图 3(b)所示。若采用 BP网络,经过 1914次学习,其平方误差方达到 0.1,如图 3(a)所示,表 2列出了 BP网络和 RBF网络的测试结果

从图 3和表 2中可以看出,采用 RBF网络迭代次数远少于 BP网络的次数,训练速度有很大提高。更重要的是在训练效果方面,对于训练过和未训练的样本,RBF网络在识别精度上比 BP网络都有明显的改善。同时用 RBF网络对缺陷射频反射信号进行了分类研究,图 4为网络平方误差的收敛曲线。从图中可以看

表 2 检波信号缺陷分类实验结果统计表

识别方法	缺陷训练结果			缺陷识别结果		
	样本总数	分类数目	比率 (%)	样本总数	分类数目	比率 (%)
BP网络	45	42	93.3	35	25	71.4
RBF网络	45	44	97.7	35	30	85.7

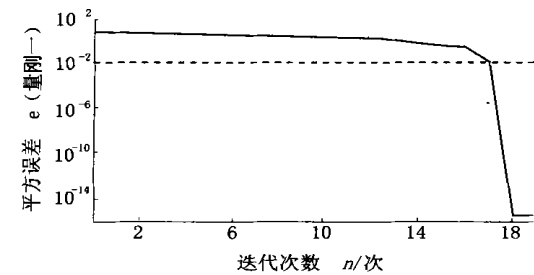


图 4 基于射频信号的 RBF网络误差曲线

表 3 射频信号缺陷分类结果统计表

识别方法	缺陷训练结果			缺陷识别结果		
	样本总数	分类数目	比率 (%)	样本总数	分类数目	比率 (%)
RBF网络	45	45	100	35	24	68

到,训练进行了 19步,略高于检波信号的训练次数。表 3为网络对缺陷射频信号的分类结果。由此可见,采用 RBF网络,能加快训练速度,同时泛化能力能够得到加强

7 结 论

(1)在超声检测回波信号中,基于这里提出的类别可分性判据分析,射频形式和检波形式的信号的可分性是比较接近的。

(2)超声回波射频信号和检波信号对于缺陷识别的可分性没有明显差别,这超出作者的预期,因此对于上述两类信号的可分性及其判据问题还应继续深入研究。

(3)超声检测检波信号由于易于分析和判断,所以在特征信号的采集和特征值的提取时将其作为原始信号较为方便。

(4)在缺陷样本的训练中,RBF网络具有比 BP网络更快的学习速度,能更有效地提高分类器的泛化分类准确率。

参考文献

1 吴森,张海燕,孙智,刘旭. 超声检测缺陷分类的小波分析与神经网络方法. 中国矿业大学学报, 2000, 29 (3): 239~ 243.

2 刘旭. 超声探伤缺陷分类中信号处理方法及系统的研究: [硕士学位论文]. 北京: 中国矿业大学(北京校区), 2000.

3 陈彦华,李明轩. 利用人工神经网络实现缺陷类型识别. 应用声学, 1998, 17(2): 1~ 4.

4 刘伟军. 基于神经网络的超声无损检测缺陷定征方法的研究. 大连理工大学学报, 1998, 38(5): 23~ 26.

(上接第 631页)

参考文献

1 王晓东,陈伯时,夏承光. 基于单神经元自适应 PID控制器直流调速系统的研究. 电气传动, 1996, 26(4): 29~ 32, 35.

2 胡金汉,王志良,王尚君,刘明. 基于神经—模糊控制的交流伺服系统仿真研究. 电气传动, 1996, 26(1): 32~ 35.

3 Yabuta T, Yamada T. Neural network controller characteristics with regard to adaptive control. IEEE Trans on System, Man and Cybernetics, 1992, 22(1): 170~ 177.

4 丁科,李绍滋. 基于智能控制的交流变频调速系统仿真. 洛阳工学院学报, 1997, 18(4): 64~ 68.